

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号  
特開2001-272566  
(P2001-272566A)

(43)公開日 平成13年10月5日 (2001.10.5)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 02 B 6/13		G 02 B 1/02	2 H 0 4 7
1/02		5/18	2 H 0 4 9
5/18		5/30	
5/30		6/12	M
6/12			Z

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2000-90749(P2000-90749)

(22)出願日 平成12年3月27日 (2000.3.27)

(71)出願人 000006079  
ミノルタ株式会社  
大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号  
大阪国際ビル  
(72)発明者 横山 光  
大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪  
国際ビル ミノルタ株式会社内  
(72)発明者 北岡 賢治  
大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪  
国際ビル ミノルタ株式会社内  
(74)代理人 100085501  
弁理士 佐野 静夫 (外1名)

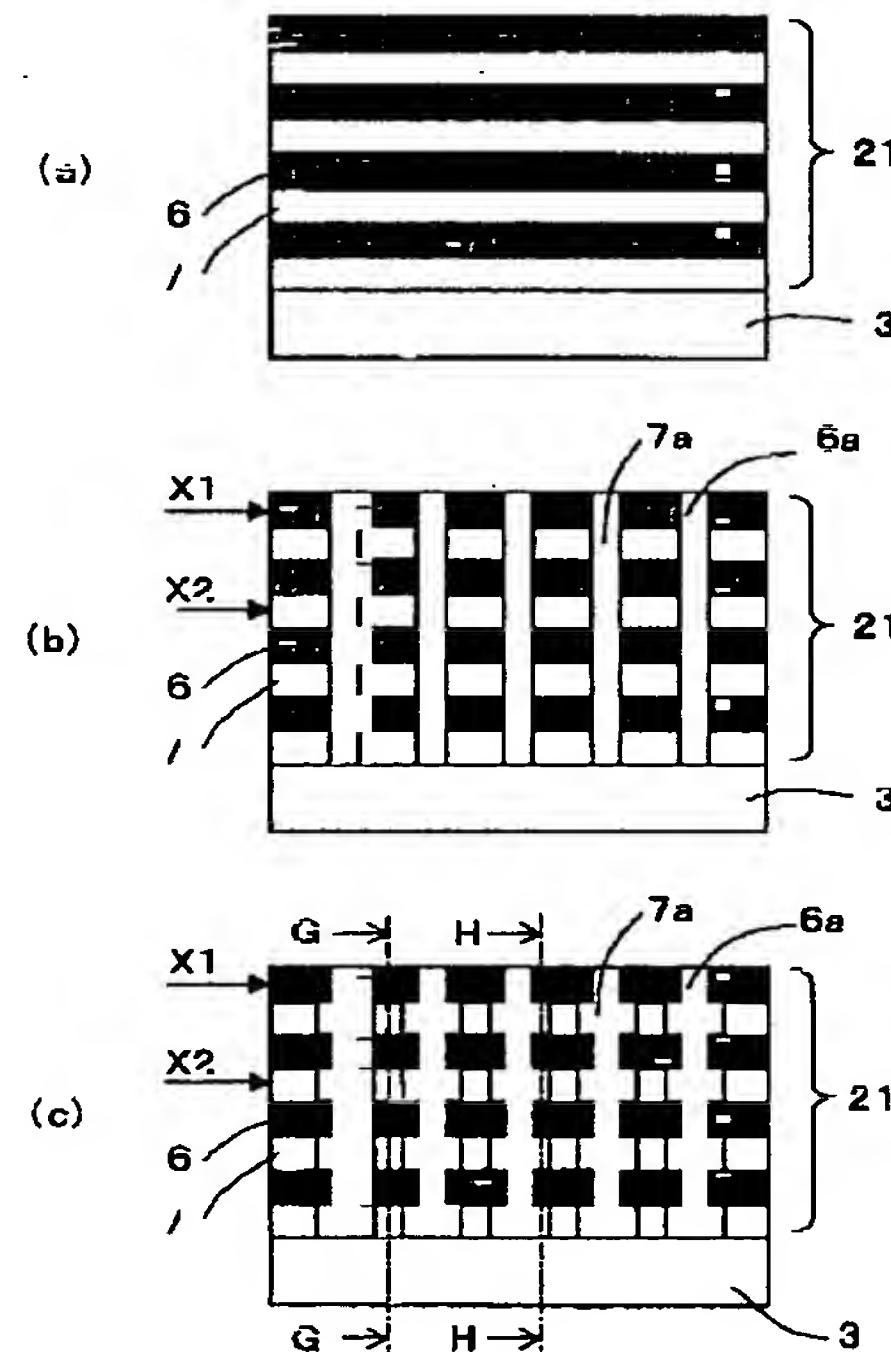
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 フォトニック結晶の製造方法

(57)【要約】

【課題】 部位によって光学的特性の異なるフォトニック結晶を簡単に得ることのできるフォトニック結晶の製造方法を提供する。

【解決手段】 異なるエッチング特性及び屈折率を有する複数の媒質6、7を基板3上に積層して基体21が形成され、基体21の表面に周期的に配列される複数の孔部6a、6bをエッチングや陽極酸化等により形成する。その後、エッチングにより孔部6a、7aの径を拡大する。これにより、断面G-Gでは媒質6と媒質7とが厚み方向に周期的に配列され、断面H-Hでは媒質6と空気とが厚み方向に周期的に配列された擬似的な三次元のフォトニック結晶が得られる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 厚み方向に結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも一方が異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、  
前記基体に周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、  
を備えたことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項2】 第1工程によって厚み方向に屈折率の異なる物質を形成したことを特徴とする請求項1に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項3】 該屈折率が厚み方向に徐々に異なるようにしたことを特徴とする請求項2に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項4】 第2工程後、前記孔部の断面積をエッチングにより拡大する第3工程を備えたことを特徴とする請求項1～請求項3のいずれかに記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項5】 厚み方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、  
前記基体に電圧を加えて周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、  
を備え、前記基体の部位に応じて印加電圧を可変したことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項6】 厚み方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、  
前記基体に外部から磁界を加えて周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、  
を備え、前記基体の厚み方向に対して前記孔部が傾斜するように前記磁界の方向を可変したことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項7】 前記物性値は屈折率、結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも1つであることを特徴とする請求項5または請求項6に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項8】 第1工程によって厚み方向に屈折率の異なる物質を形成したことを特徴とする請求項5または請求項6に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項9】 該屈折率が厚み方向に徐々に異なるようにしたことを特徴とする請求項8に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項10】 面方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、  
前記基体に周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、  
を備えたことを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項11】 前記物性値は屈折率、結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも1つであることを特徴とする請求項10に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項12】 媒質に外部から磁界を加えて、前記媒

質の表面に周期的に配列した複数の孔部を凹設する孔部形成工程を有することを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項13】 媒質の部位に応じて異なる電圧を加えて、前記媒質の表面に周期的に配列した複数の孔部を凹設する孔部形成工程を有することを特徴とするフォトニック結晶の製造方法。

【請求項14】 前記媒質を抵抗材料から成る基板上に形成したことを特徴とする請求項13に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項15】 前記媒質を領域毎に異なる抵抗値で形成される下地上に形成したことを特徴とする請求項13に記載のフォトニック結晶の製造方法。

【請求項16】 前記孔部形成工程を陽極酸化または陽極化成により行うことの特徴とする請求項12～請求項15のいずれかに記載のフォトニック結晶の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、屈折率の異なる複数の媒質を周期的に配置したフォトニック結晶の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】屈折率の異なる複数の媒質を周期的に配置したフォトニック結晶は図12に示すような構造になっている。フォトニック結晶1は基板3上に屈折率の異なる媒質2a、2bが周期的に配列されている。媒質2a、2bから成る光導波層2の屈折率を基板3の屈折率よりも大きくすることにより、光導波層2は屈折率の小さい上部の空気層と基板3とに挟まれるため、光導波層2に入射した光は光導波層2内に閉じこめられて導波する。

【0003】フォトニック結晶1は屈折率分散の異方性が生じるという性質を有している。媒質2a、2bの屈折率、円柱や角柱等の媒質2a、2bの形状、媒質2a、2bの大きさ、三角格子や正方格子等の格子種類或いは配列の周期を適切に選択することにより、所望の波長や偏光方向の光に対して異なる光学的特性を得ることができる。

【0004】これにより、同図に示すように例えば、同一方向から入射した波長λ1、λ2の光を異なる方向に射出することができる。逆に異なる方向から入射した波長の異なる光を同一方向に射出することもできる。また、特定の波長の光を反射させることも可能である。このような性質を利用することで、光信号の分波器や合波器、或いはフィルターとして用いることができる。

【0005】上記のフォトニック結晶1は図13に示す製造方法により製造される。まず、図13(a)に示すように、レジスト塗布工程において媒質4の表面にレジスト11を塗布する。媒質4は、基板3(図12参照)上に成膜により形成してもよい。次に、図13(b)に

示すようにパターニング工程において、フォトリソグラフィー技術によりレジスト11を周期的な形状にパターニングする。

【0006】次に、図13(c)に示すようにエッチング工程において、RIE(Reactive Ion Etching)等により媒質4をエッチングして孔部4aを形成する。そして、図13(d)に示すようにレジスト除去工程においてレジスト11を除去する。この時の断面図を図14に示すと、孔部4aが周期的に配列されている。従って、図13(a)のレジスト塗布工程～図13(d)のレジスト除去工程は周期的な孔部4aを形成する孔部形成工程を構成している。そして、媒質4と孔部4a内の空気とにより屈折率の異なる媒質から成る周期構造を有するフォトニック結晶が得られる。

【0007】また、陽極酸化または陽極化成により周期的に配列される孔部を形成する方法も知られている。図15は、陽極酸化または陽極化成による孔部形成工程を示す図である。アルミニウム、チタン等の金属や、シリコン、ガリウム砒素、インジウム砒素等の半導体から成る媒質4は、適当な電解液中に浸漬し、陽極に配して電圧を印加すると酸化または化成する。その結果、同図に示すように、規則正しく配列される孔部4aを得ることができる。

【0008】例えば基板上に形成されるアルミニウム薄膜或いはアルミニウム基板から成る媒質4をシュウ酸等の酸性電解液中で陽極酸化すると、直径が数nm～数100nmの細孔からなる孔部4aが数nm～数100nmの間隔で三角格子状に規則正しく並んだ多孔質アルミニナ層が形成される。孔部4aは非常に垂直性がよく、陽極酸化または陽極化成によってアスペクト比の極めて高い孔部を容易に得ることができる。

【0009】これにより、媒質4と孔部4a内の空気とにより屈折率の異なる媒質から成る周期構造を有するフォトニック結晶が得られる。また、孔部4aの間隔は陽極酸化の際の印加電圧に略比例するため、印加電圧を制御することによって孔部4aの間隔を制御し、所望の光学的特性を得ることができる。

#### 【0010】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の従来のフォトニック結晶の製造方法によると、媒質4の厚み方向において、媒質4及び空気の屈折率、孔部4aの形状、格子種類及び配列の周期が同じになる。このため、例えば、厚み方向にも異なる屈折率の媒質による周期構造を有するいわゆる三次元フォトニック結晶を得るには、上記の製造工程により二次元のフォトニック結晶を作成し、その上に同様の製造工程により屈折率、孔部の径、孔部の周期等の異なる二次元のフォトニック結晶を作成する必要がある。

【0011】また、三次元フォトニック結晶に限らず、媒質4の厚み方向に異なる光学的特性を有する二次元フ

オトニック結晶は、厚み方向の異なる位置に同一方向から入射する入射光を異なる方向に射出する等の作用をさせることができ。このようなフォトニック結晶を作成する場合も三次元フォトニック結晶の場合と同じように、同様の工程を複数回数行う必要がある。

【0012】また、陽極酸化または陽極化成によって孔部4aを形成するフォトニック結晶の製造方法の場合は、エッチングを用いる場合に比べて、アスペクト比の高い孔部4aを少ない工程で形成することができる利点がある。しかし、媒質4の面方向に孔部の径や孔部の周期を可変することができず光学的特性の異なったフォトニック結晶を並設して作成することが困難である。

【0013】従って、厚み方向や面方向に屈折率、孔部4aの形状、孔部4aの大きさ、格子種類或いは配列の周期等が異なり、複数の光学的特性を得ることのできるフォトニック結晶を作成するには、工数が大きくコストが高くなる問題があった。

【0014】本発明は、厚み方向や面方向に光学的特性的異なるフォトニック結晶を簡単に得ることのできるフォトニック結晶の製造方法を提供することを目的とする。

#### 【0015】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために請求項1に記載された発明は、厚み方向に結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも一方が異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、前記基体に周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、を備えたことを特徴としている。

【0016】この構成によると、例えば異なる結晶軸方向を有する複数の媒質を基板上に積層して基体が形成され、基体の表面に陽極酸化、陽極化成、フォトリソグラフィ技術によるエッチング加工、電子ビームによるビーム加工等の方法で周期的に配列される複数の孔部が形成される。これにより、孔部は方向が異なって形成され、断面によって媒質と空気の周期が厚み方向に異なるフォトニック結晶が得られる。

【0017】また請求項2に記載された発明は、請求項1に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、第1工程によって厚み方向に屈折率の異なる物質を形成したことを特徴としている。この構成によると、一の媒質と孔部内の空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶と、他の媒質と空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶とが厚み方向に周期的に積層され、複数の光学的特性を有するフォトニック結晶が得られる。

【0018】また請求項3に記載された発明は、請求項2に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、該屈折率が厚み方向に徐々に異なるようにしたことを特徴としている。

【0019】また請求項4に記載された発明は、請求項

1～請求項3のいずれかに記載されたフォトニック結晶の製造方法において、第2工程後、前記孔部の断面積をエッチングにより拡大する第3工程を備えたことを特徴としている。

【0020】この構成によると、例えば、異なるエッチング特性を有する複数の媒質を基板上に積層して基体が形成され、第2工程において基体の表面に周期的に配列される複数の孔部が形成される。更に第3工程においてエッチングにより孔部を拡大すると、エッチング速度の違いによって一の媒質と他の媒質との孔部の径が異なって形成される。

【0021】また請求項5に記載された発明は、厚み方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、前記基体に電圧を加えて周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、を備え、前記基体の部位に応じて印加電圧を可変したことを特徴としている。

【0022】この構成によると、例えば、第1工程において異なる物性値を有する複数の媒質を基板上に積層して基体を形成し、第2工程において基体に電圧を印加して陽極酸化または陽極化成により孔部が形成される。そして、基体の部位に応じて印加電圧を可変することにより、孔部の周期が異なって形成される。

【0023】また請求項6に記載された発明は、厚み方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工程と、前記基体に外部から磁界を加えて周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、を備え、前記基体の厚み方向に対して前記孔部が傾斜するように前記磁界の方向を可変したことを特徴としている。

【0024】この構成によると、例えば、第1工程において異なる物性値を有する複数の媒質を基板上に積層して基体を形成し、第2工程において基体に電圧を印加して陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する。電界により加速されたイオンは磁界の方向に応じて進行方向が電界方向に対して傾斜する。これにより、磁界の方向に応じて傾斜した孔部が形成される。

【0025】また請求項7に記載された発明は、請求項5または請求項6に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記物性値は屈折率、結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも1つであることを特徴としている。

【0026】また請求項8に記載された発明は、請求項5または請求項6に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、第1工程によって厚み方向に屈折率の異なる物質を形成したことを特徴としている。

【0027】また請求項9に記載された発明は、請求項8に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、該屈折率が厚み方向に徐々に異なるようにしたことを特徴としている。

【0028】また請求項10に記載された発明は、面方向に物性値の異なる物質から成る基体を形成する第1工

程と、前記基体に周期的に配列した複数の孔部を形成する第2工程と、を備えたことを特徴としている。

【0029】この構成によると、面方向に異なる物性値を有する複数の媒質を並列に配して基体を形成することにより、陽極酸化やエッチング加工等によって周期的に配列される複数の孔部が形成される。これにより一の媒質と孔部内の空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶と、他の媒質と空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶とが面方向に並設された複数の光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0030】また請求項11に記載された発明は、請求項10に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記物性値は屈折率、結晶軸方向及びエッチング特性の少なくとも1つであることを特徴としている。

【0031】また請求項12に記載された発明は、媒質に外部から磁界を加えて、前記媒質の表面に周期的に配列した複数の孔部を凹設する孔部形成工程を有することを特徴としている。この構成によると、例えば、媒質に電圧を印加して陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する。電界により加速されたイオンは磁界の方向に応じて進行方向が電界方向に対して傾斜する。これにより、磁界の方向に応じて傾斜した孔部が形成される。

【0032】また請求項13に記載された発明は、媒質の部位に応じて異なる電圧を加えて、前記媒質の表面に周期的に配列した複数の孔部を凹設する孔部形成工程を有することを特徴としている。この構成によると、媒質を形成した基板を所定の溶液中に浸漬し、基板を陽極に配して電圧を印加することにより陽極酸化または陽極化成が行われる。これにより、基体が表面から酸化または化成され、基体には周期的に配される孔部が形成される。この時、媒質の部位により異なる電圧を印加して孔部の周期が可変される。

【0033】また請求項14に記載された発明は、請求項13に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記媒質を抵抗材料から成る基板上に形成したことを特徴としている。この構成によると、電圧の印加点からの距離に応じて基板の抵抗によって電圧降下し、媒質に印加される電圧が可変される。

【0034】また請求項15に記載された発明は、請求項13に記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記媒質を領域毎に異なる抵抗値で形成される下地上に形成したことを特徴としている。この構成によると、基板に印加される電圧が下地の抵抗によって電圧降下し、領域毎に媒質に印加される電圧が可変される。

【0035】また請求項16に記載された発明は、請求項12～請求項13のいずれかに記載されたフォトニック結晶の製造方法において、前記孔部形成工程を陽極酸化または陽極化成により行うことを特徴としている。

【0036】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施形態を図面を参照して説明する。説明の便宜上、従来例の図12～図15と同一の部分については同一の符号を付している。図1は第1実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。図1(a)に示すように、基板3上にはエッチング特性の異なる媒質6、7が厚み方向に周期的に積層され、多層膜から成る基体21が形成されている。

【0037】媒質6、7は、スパッタリング、蒸着或いはCVD等により成膜することができ、異なる材料を用いて積層してもよいし、所望の材料の成膜中に他の材料をドーピングしてもよい。次に、前述した図13に示すように、孔部形成工程においてフォトリソグラフィ技術によりレジスト11を所望形状にパターニングし、RIE等によりエッチングする。

【0038】これにより、図1(b)に示すように、基体21の厚み方向に凹設される周期的に配列された孔部6a、7aを得ることができる。その結果、媒質6と孔部6a内の空気とから成るフォトニック結晶と、媒質7と孔部7a内の空気から成るフォトニック結晶とが積層される。次に、孔部拡大工程において所定のエッチング液に浸漬することにより孔部6a、7aの径を広くすることができます。この時、媒質6、7が異なるエッチング特性を有しているので、図1(c)に示すように、孔部6a、7aを異なる径にすることができる。

【0039】これにより、媒質6、7の屈折率が異なる場合には、断面G-Gでは、媒質6、7が厚み方向に周期的に配され、断面H-Hでは媒質6と空気とが厚み方向に周期的に配された擬似的な三次元の周期構造を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0040】また、媒質6、7の屈折率が同じであっても異なった径の孔部6a、7aが形成されるため、図1(c)において、矢印X1、X2のように入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性が得られる。

【0041】従って、同図に示すように、矢印X1、X2のように入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性を有する二次元のフォトニック結晶を多層化したフォトニック結晶や、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。また、孔部形成工程は、前述の図15に示すように陽極酸化或いは陽極化成により行っても同様の効果を得ることができる。

【0042】次に図2(a)、(b)は第2実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す斜視図及び断面図である。本実施形態は厚み方向(図中、上下方向)に屈折率分布を有する基体22に、前述の図13に示すエッチングまたは図15に示す陽極酸化や陽極化成を用いた孔部形成工程により孔部22aが形成される。

【0043】屈折率分布を有する基体22は、所望の材料の成膜中に他の物質をドーピングし、ドーピング量を

徐々に可変することにより作成することができる。また、ドーピングを行う物質を徐々に変えてもよく、成膜する材料を徐々に変えてもよい。

【0044】このようにして得られるフォトニック結晶1は矢印X1、X2のように入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。また、第1実施形態と同様に、孔部拡大工程において所定のエッチング液に浸漬することにより、孔部22aの径を広くすることができます。この時、基体22が厚み方向にエッチング特性の分布を有すると、図3に示すように、孔部22aを厚み方向に異なる径にすることができる。

【0045】これにより、入射光の厚み方向の入射位置に応じて更に異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができます。また、第1実施形態と同様に、基体22は厚み方向に屈折率が同じであってもエッチング特性が異れば孔部拡大工程によって孔径を厚み方向に可変し、入射位置に応じて異なる光学的特性を得ることができます。

【0046】次に、図4は第3実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す平面図である。本実施形態は図4(a)に示すように、基体23は屈折率の異なる媒質6、7が面方向(紙面に平行な方向)に並設されて形成されている。そして、図4(b)に示すように、前述の図13に示すエッチングまたは図15に示す陽極酸化や陽極化成を用いた孔部形成工程により基体23に孔部6a、7aが形成される。

【0047】屈折率の異なる媒質6、7を面方向に併設した基体23は以下のようない方法で作成することができる。まず、媒質6をスパッタリング等により成膜する。次に、媒質7の領域をフォトリソグラフィによりパターニングしてエッチングする。次に、媒質7を成膜し、媒質6の領域を媒質7の厚み分だけエッチングする。

【0048】本実施形態によると、孔部6a内の空気と媒質6とが周期的に配列された二次元フォトニック結晶と、孔部7a内の空気と媒質7とが周期的に配列された二次元フォトニック結晶とが同一面内の異なる位置に配されている。これにより、同一面内の異なる位置に入射する入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0049】また、図4(b)のフォトニック結晶は、孔部拡大工程において所定のエッチング液に浸漬することにより孔部6a、7aの径を広くすることができます。この時、媒質6、7が異なるエッチング特性を有すると、図4(c)に示すように、孔部6a、7aを異なる径にすることができる。

【0050】これにより、孔部形成工程をエッチングにより行う場合はパターニングによって孔部6a、7aの

径を可変できるが、陽極酸化または陽極化成により行う場合においても、孔部拡大工程によって孔部6a、7aの径を可変することができる。従って、入射光の面方向の入射位置に応じて更に異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0051】また、第1、第2実施形態と同様に、基体23の媒質6、7は屈折率が同じであってもよく、エッチング特性が異れば孔部形成工程を陽極酸化または陽極化成により行った場合でも孔部拡大工程によって孔径を同一面内で可変し、面方向の異なる入射位置に入射する入射光に対して異なる光学的特性を得ることができる。

【0052】また、図11に示すように、媒質7をL字型に配して基体25を形成することによって、媒質7による導波路を構成することができる。従って、従来の技術では不可能であった鋭角に屈曲した損失のない導波路を低成本で作成することができる。

【0053】次に、第4実施形態について説明する。スパッタリング、蒸着或いはCVD等により基板上に所望の媒質を成膜する際に、図5(a)に示すように、基板3を傾斜させ、図中、上方から媒質8を成膜すると、媒質8は結晶軸8bの方向が基板3に対して傾斜して形成される。この媒質8にエッチングや陽極酸化等により孔部を形成すると、図5(b)に示すように、孔部8aが結晶軸8bに応じて形成され、孔部8aが基板3に対して傾斜する。

【0054】この性質を利用した第4実施形態を図6、図7に示す。図6(a)、(b)、(c)はそれぞれ図7のA面、B面、C面に平行な断面図である。本実施形態では、結晶軸9bの方向が異なる媒質9p、9q、9r、9sを積層して基体24が形成されている。

【0055】媒質9p、9q、9r、9sは、図6(c)における点p、点q、点r、点sを紙面から上方に離れるように傾斜させた状態で、紙面から離れた上方から成膜することによって、それぞれ異なった結晶軸9bの方向に形成されている。

【0056】そして、基体24には、前述の図13に示すエッチングまたは図15に示す陽極酸化や陽極化成を用いた孔部形成工程により孔部9aが形成される。この時、孔部9aは結晶軸9bに応じて形成されるので、図7に示すように螺旋状になる。

【0057】積層された媒質9p～9sから成る各層は、媒質の屈折率、孔部の径、孔部の周期等が同じ面方向の周期構造を形成する。基体24の厚み方向には4層毎に孔部9a内の空気と媒質9p～9sとが周期的に配された周期構造となる。従って、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低成本で作成することができる。尚、基体24の傾斜方向をより細分化或いは連続的に変化させて成膜することにより、孔部9aをより滑らかな螺旋状に形成することができる。

【0058】また、前述の図1～図4に示す第1～第3

実施形態の基体21～23として、結晶軸の方向が異なる媒質を積層して形成することによって、より複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができるもの。

【0059】次に、第5実施形態について説明する。図8(a)は、基板3上にアルミニウム等の媒質10を成膜等により形成して前述の図15に示す陽極酸化または陽極化成を用いた孔部形成工程によって孔部10aを形成した状態を示す図である。この時、媒質10には外部から磁界が加えられている。

【0060】孔部10aの拡大図を図8(b)に示すと、例えば陽極酸化を行う場合には、基板3に電圧が印加されて電解液中の酸素イオン16には電界Eが作用する。これにより、酸素イオン16は電界Eの方向に孔部10aを掘り下げて、多孔質アルミナ等の酸化物10bを形成する。更に、紙面に垂直な方向に磁界を加えることにより、酸素イオン16には図中、左右方向に電磁力Fが働く。これにより、酸素イオン16は媒質10の表面に対して傾斜して進行し、孔部10aが傾斜して形成される。

【0061】従って、陽極酸化または陽極化成の際に媒質10にかける磁界の方向を可変することにより、前述の図7に示す第4実施形態と同様に、螺旋状の孔部を形成することができる。その結果、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低成本で作成することができる。

【0062】また、前述の図1～図7に示す第1～第4実施形態の基体21～24を陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する際に、基体21～24に磁界をかけることによって、より複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0063】次に、図9は第6実施形態を示す図である。基板3上にはアルミニウム等の媒質10が成膜等により形成され、陽極酸化または陽極化成の際に基板3の電圧を印加する電源13が基板3の端部に接続されている。基板3はカーボンや鉄ニッケル合金等の抵抗材料から成り、電源13による電圧の印加点Qからの距離に応じて異なる抵抗値を有する。

【0064】このため、基板3に電圧を印加して前述の図15に示す陽極酸化または陽極化成を行うと、印加点Qから近い位置では電圧降下が小さく媒質10に高い電圧が印加される。印加点Qから遠い位置では電圧降下が大きく媒質10に低い電圧が印加される。

【0065】孔部10aの周期Pは、印加される電圧に略比例するため、矢印D2方向に行く程孔部10aの周期Pが小さく、矢印D1方向に行く程孔部10aの周期Pが大きくなる。従って、所望の抵抗値を有する抵抗材料により基板3を形成することによって、孔部10aの周期Pが徐々に変化した所望の周期を得ることができ、複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ること

ができる。

【0066】また、前述の図1～図7に示す第1～第4実施形態の基体21～24を陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する際に、基板3を所定の抵抗値を有する抵抗材料から形成することによって、より複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0067】次に、図10(a)、(b)は第7実施形態を示す側面図及び平面図である。導電性の基板3の上面は、 $\text{SiO}_2$ 等の絶縁体14により領域R1～R5に分割されている。各領域R1～R5には、基板3上に抵抗材料から成る下地層12が形成され、下地層12上にアルミニウム等の媒質10が成膜等により形成されている。基板3には電源13が接続され、媒質10に電圧を印加することにより前述の図15に示す陽極酸化または陽極化成が行われる。

【0068】各領域R1～R5の下地層12は抵抗値が異なるように形成され、下地層12による電圧降下によって、各領域R1～R5の媒質10には異なる電圧が印加される。孔部10aの周期Pは、印加される電圧に略比例するため、各領域R1～R5毎に異なる周期の孔部10aが形成される。各領域R1～R5の下地層12は、同図に示すように抵抗材料の厚みにより抵抗値を可変してもよいし、異なる抵抗材料を形成してもよい。

【0069】これにより、前述の図9に示す第6実施形態では印加点Qから同心円状に孔部の周期Pが可変されるのに対し、所望の形状の領域毎に孔部10aの周期を可変することができる。従って、複数の入射光の面方向に異なる入射位置に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

【0070】また、前述の図1～図7に示す第1～第4実施形態の基体21～24を陽極酸化または陽極化成により孔部を形成する際に、基板3と基体21～24との間に分割された各領域毎に所定の抵抗値を有する下地層を形成することによって、より複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を得ることができる。

### 【0071】

【発明の効果】請求項1の発明によると、厚み方向に結晶軸方向或いはエッティング特性の異なる基体の表面に、周期的に配列した複数の孔部を凹設することにより、孔部は径や方向が異なって形成される。これにより、入射光の入射位置に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0072】また請求項2、請求項3の発明によると、厚み方向に屈折率の異なる物質を形成しているので、一の媒質と孔部内の空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶と、他の媒質と空気とが面方向に周期的に配列される二次元フォトニック結晶とが厚み方向に周期的に積層され、複数の光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで

作成することができる。

【0073】また請求項4の発明によると、孔部の断面積をエッティングにより拡大するので、異なるエッティング特性を有する複数の媒質に形成された孔部をエッティングにより拡大すると、エッティング速度の違いによって一の媒質の孔部の径が他の媒質の孔部の径と異なるように形成される。従って、三次元フォトニック結晶等の厚み方向に異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を簡単に得ることができる。

【0074】また請求項5の発明によると、基体の部位に応じて印加電圧を可変して孔部を形成することによって孔部の周期が可変される。従って、孔部の周期が徐々に変化した所望の周期が得られ、複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0075】また請求項6の発明によると、外部から磁界をかけて孔部を形成することにより、酸素イオン等に電磁力が働くため傾斜した孔部が形成される。従って、磁界の方向を可変することにより、螺旋状の孔部を形成することができる。その結果、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0076】また請求項7～請求項9の発明によると、基体は厚み方向に異なる屈折率、結晶軸方向、エッティング特性を有するため、より複雑なフォトニック結晶を作成することができる。

【0077】また請求項10、請求項11の発明によると、面方向に屈折率等の物性値の異なる基体の表面に、周期的に配列した複数の孔部を凹設することにより、孔部は径や方向が異なって形成される。これにより、同一面内の異なる位置に入射する入射光に応じて異なる光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0078】また請求項12の発明によると、外部から磁界をかけて孔部を形成することにより、酸素イオン等に電磁力が働くため傾斜した孔部が形成される。従って、磁界の方向を可変することにより、螺旋状の孔部を形成することができる。その結果、三次元のフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0079】また請求項13の発明によると、基体の部位に応じて印加電圧を可変して孔部を形成することによって孔部の周期が可変される。従って、孔部の周期が徐々に変化した所望の周期が得られ、複雑な光学的特性を有するフォトニック結晶を1回の孔部形成工程により低コストで作成することができる。

【0080】また請求項14の発明によると、基板に抵抗材料を用いて陽極酸化または陽極化成を行うことにより、媒質に印加される電圧を可変して簡単に孔部の周期を可変することができる。

【0081】また請求項15の発明によると、領域毎に媒質に抵抗を有する下地を設けて陽極酸化または陽極化成を行うことにより、簡単に孔部の周期を可変することができる。また、領域毎に所望の周期の孔部を形成することができる。

【0082】また請求項16の発明によると、陽極酸化または陽極化成を行って孔部を形成することにより、簡単に孔部の方向や周期を可変することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。

【図2】 本発明の第2実施形態のフォトニック結晶の孔部形成工程を示す図である。

【図3】 本発明の第2実施形態のフォトニック結晶の孔部拡大工程を示す断面図である。

【図4】 本発明の第3実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。

【図5】 本発明の第4実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。

【図6】 本発明の第4実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。

【図7】 本発明の第4実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す斜視図である。

【図8】 本発明の第5実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す断面図である。

【図9】 本発明の第6実施形態のフォトニック結晶

の製造方法を示す断面図である。

【図10】 本発明の第7実施形態のフォトニック結晶の製造方法を示す図である。

【図11】 本発明の第3実施形態のフォトニック結晶の製造方法によって形成される他のフォトニック結晶を示す図である。

【図12】 従来のフォトニック結晶を示す斜視図である。

【図13】 従来のフォトニック結晶の製造方法を示す斜視図である。

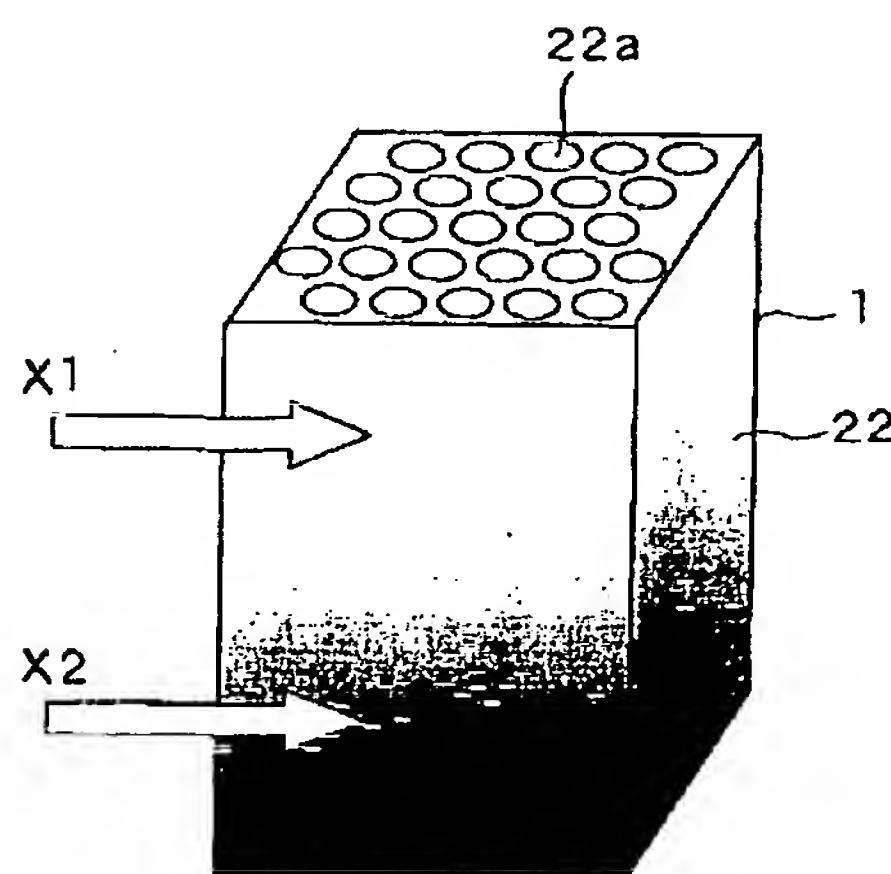
【図14】 従来のフォトニック結晶を示す断面図である。

【図15】 従来のフォトニック結晶の他の製造方法を示す斜視図である。

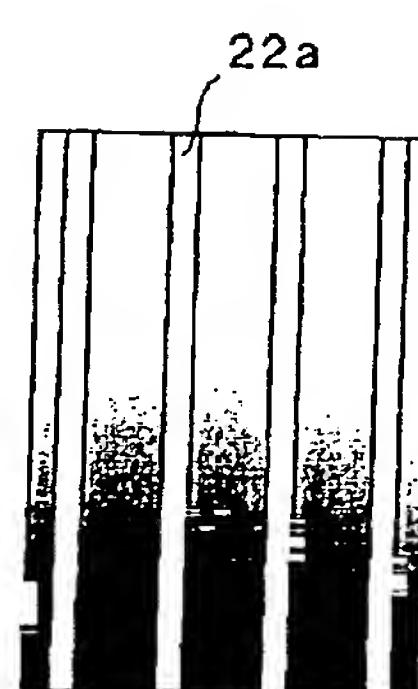
#### 【符号の説明】

- |        |          |
|--------|----------|
| 1      | フォトニック結晶 |
| 2      | 光導波層     |
| 3      | 基板       |
| 4、6～10 | 媒質       |
| 5      | 多孔質アルミナ層 |
| 11     | レジスト     |
| 12     | 下地層      |
| 13     | 電源       |
| 14     | 絶縁体      |
| 16     | 酸素イオン    |
| 21～24  | 基体       |

【図2】

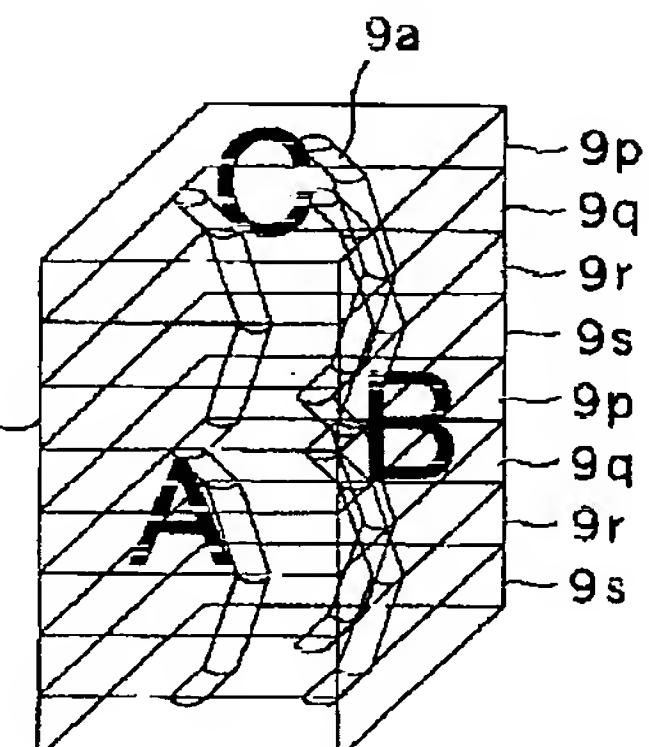


(a)

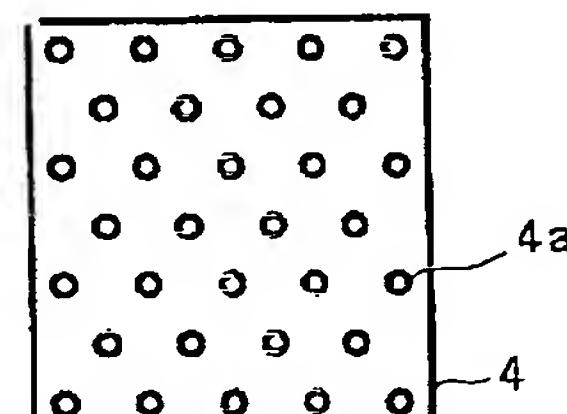


(b)

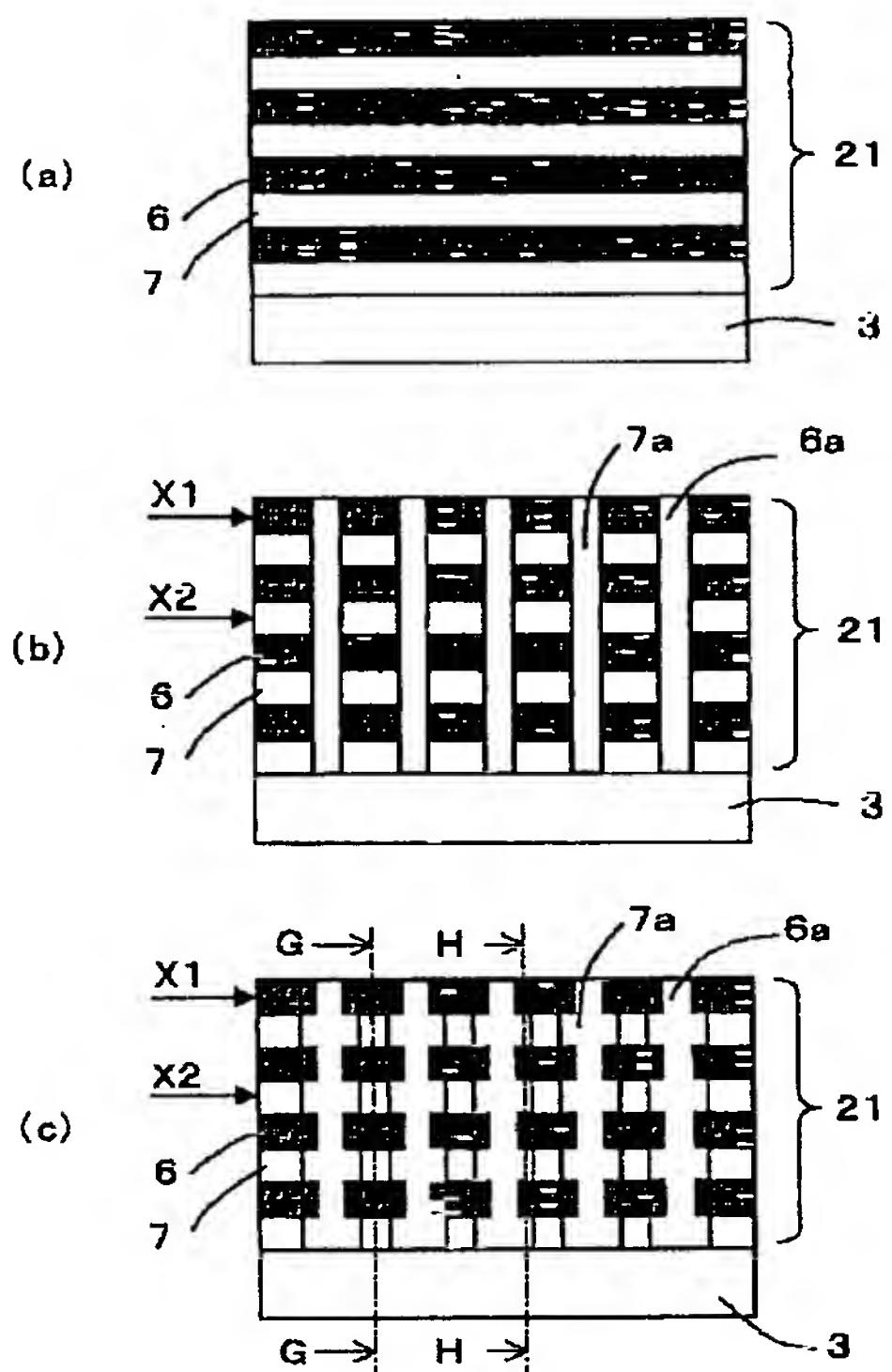
【図7】



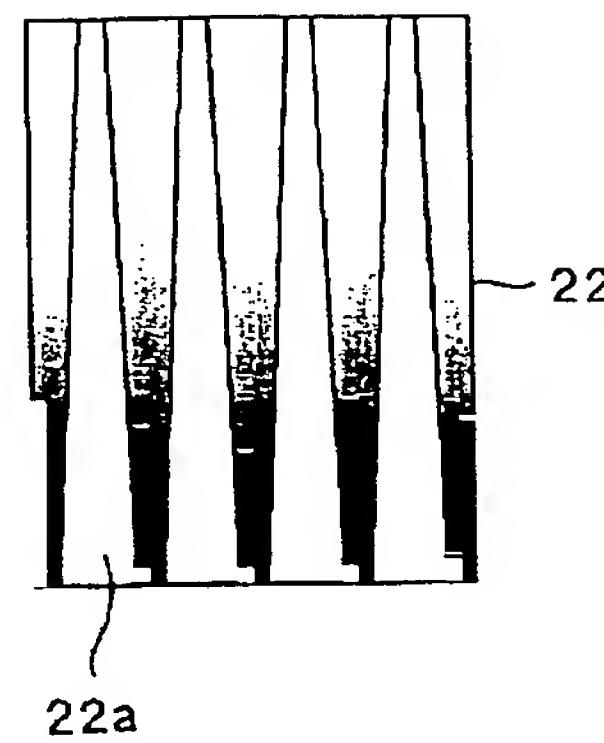
【図14】



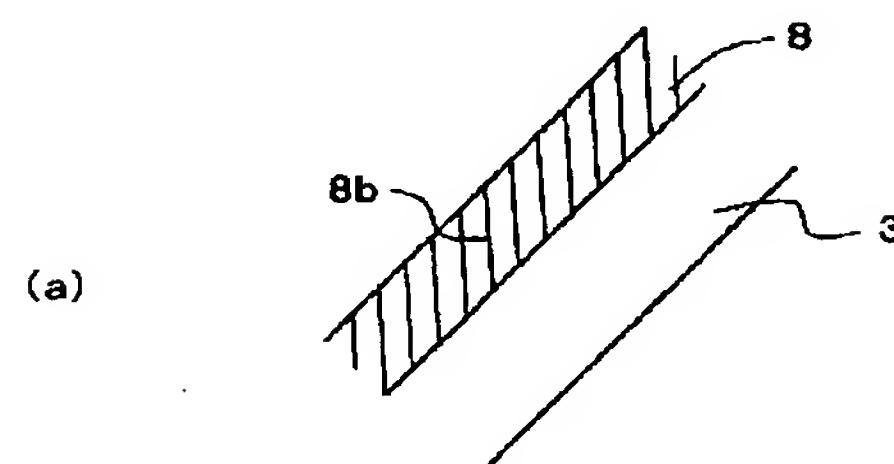
【図1】



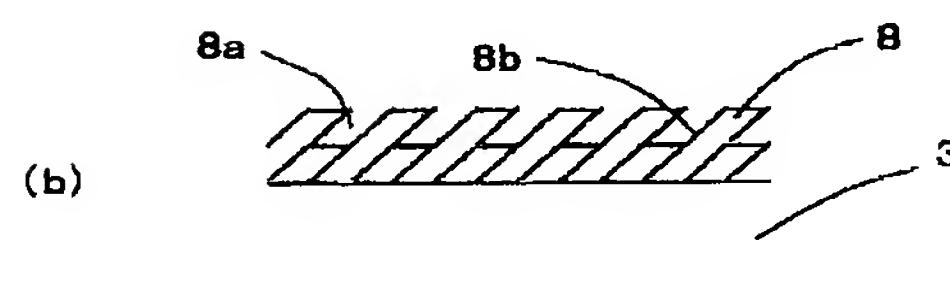
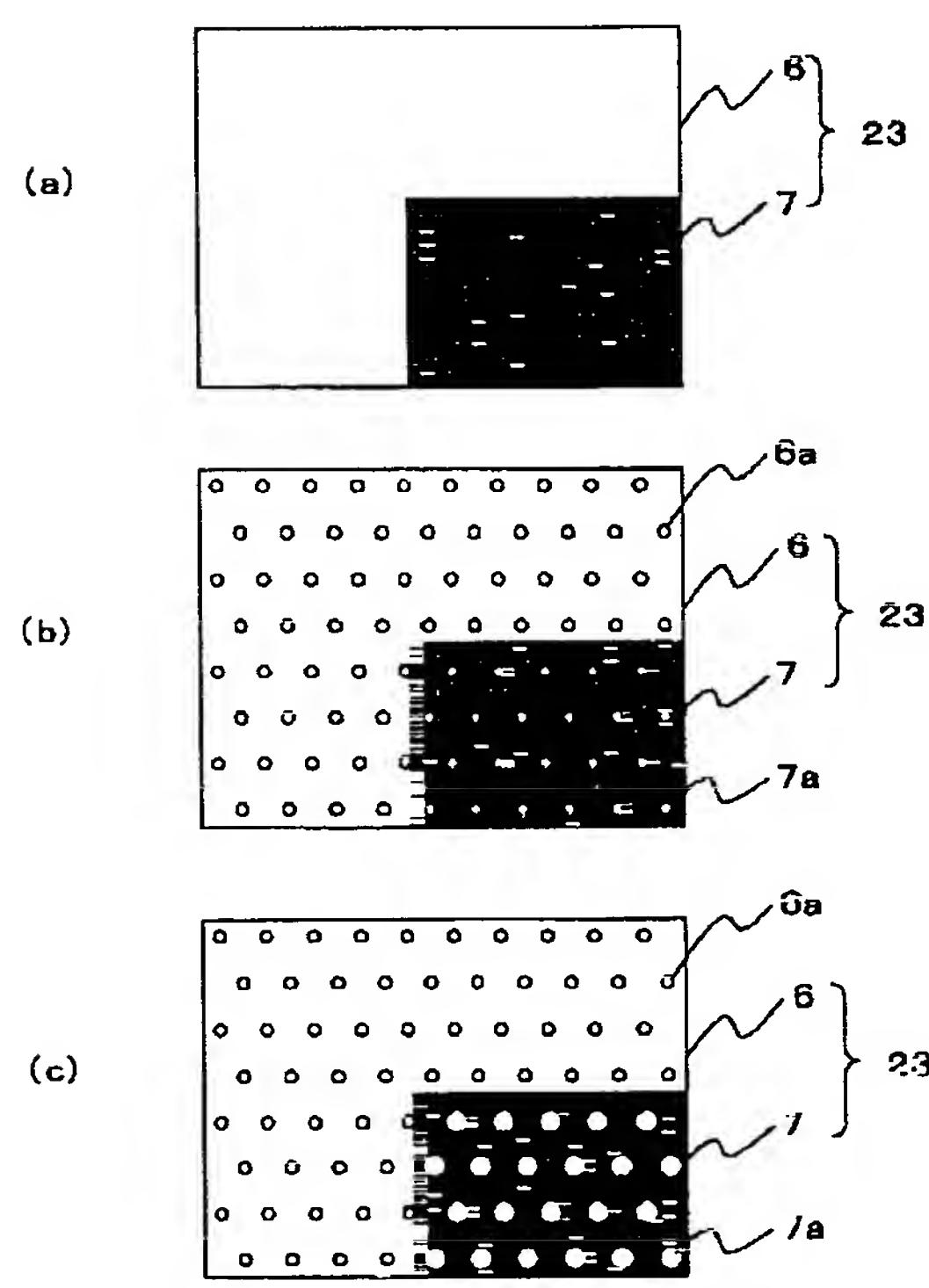
【図3】



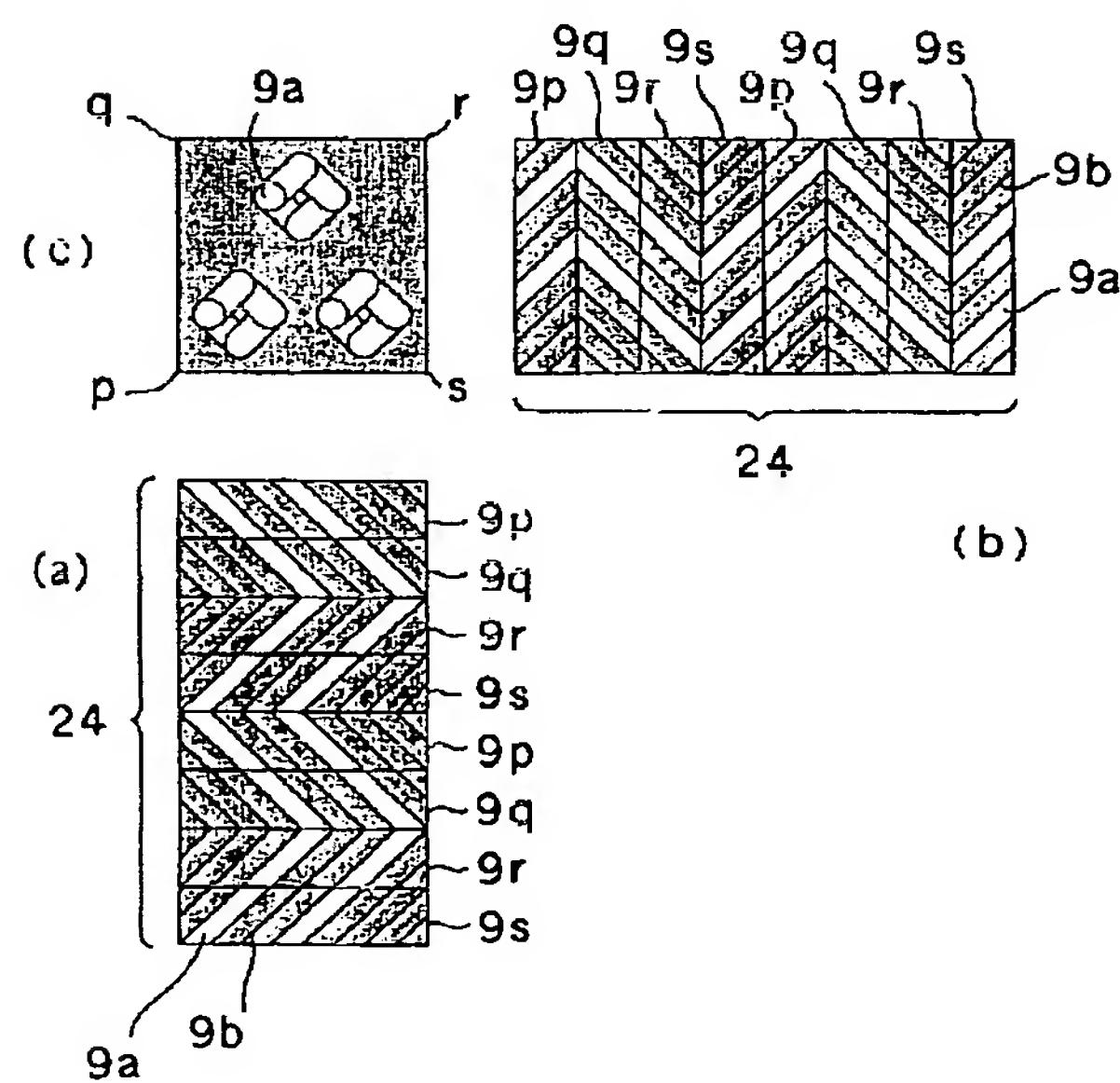
【図5】



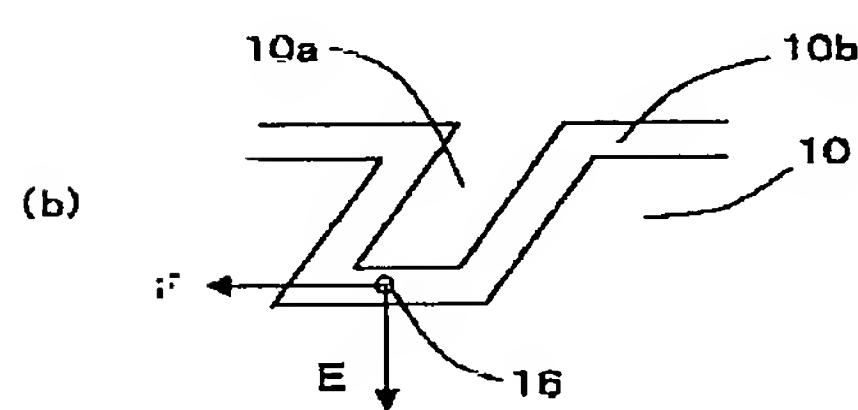
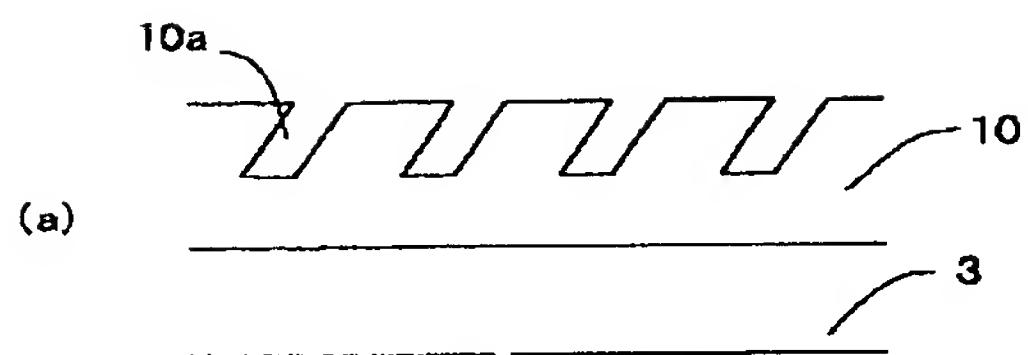
【図4】



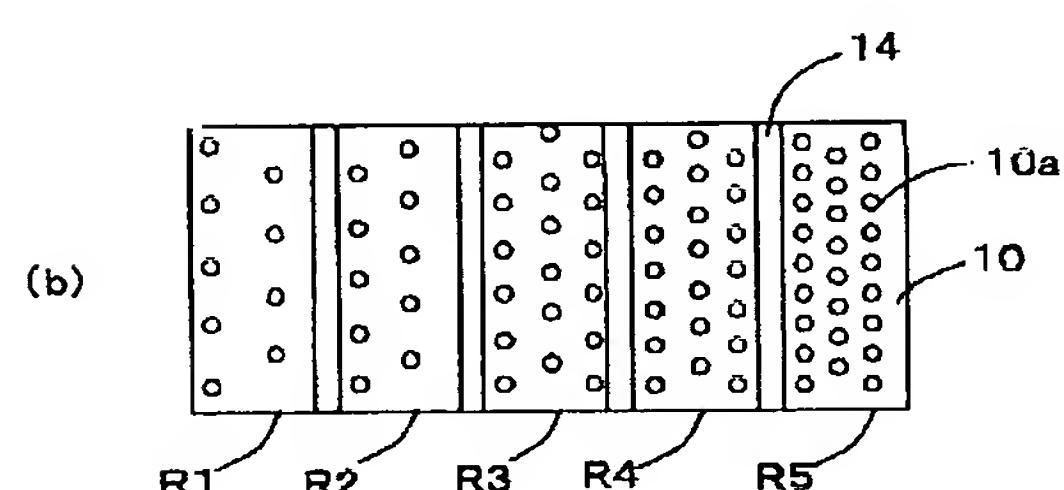
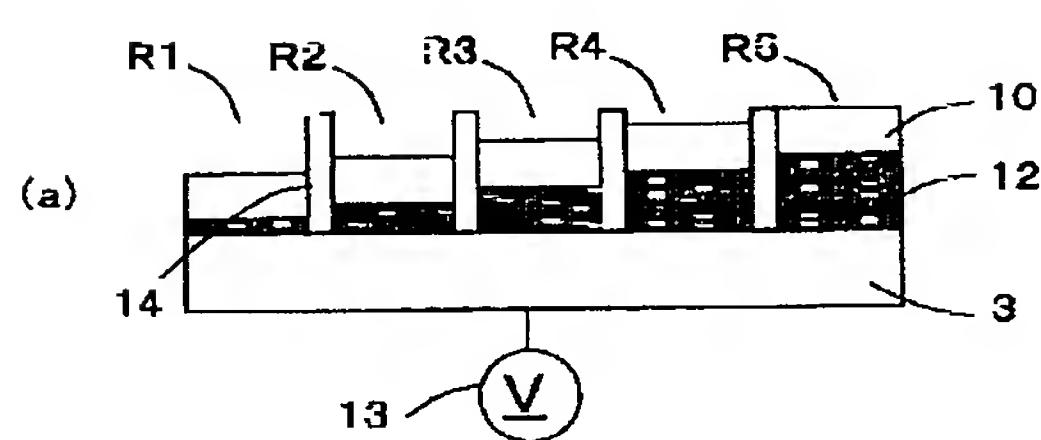
【図6】



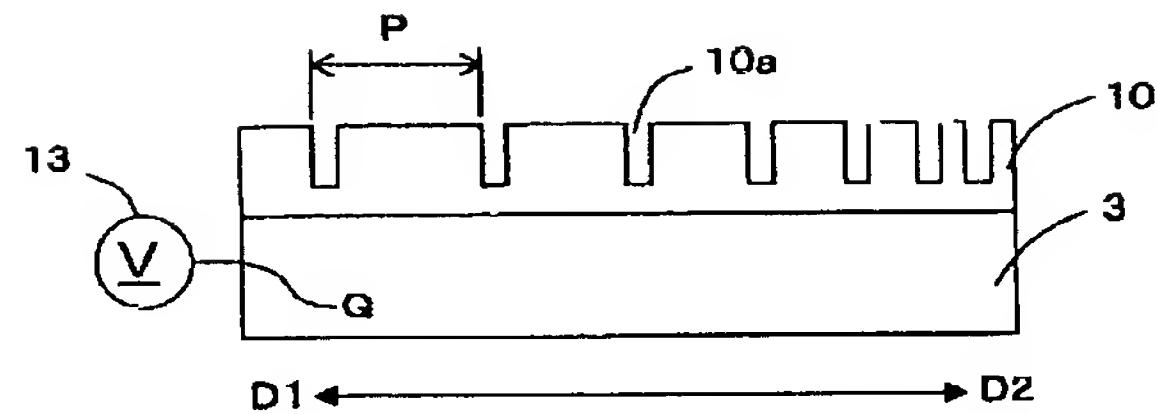
【図8】



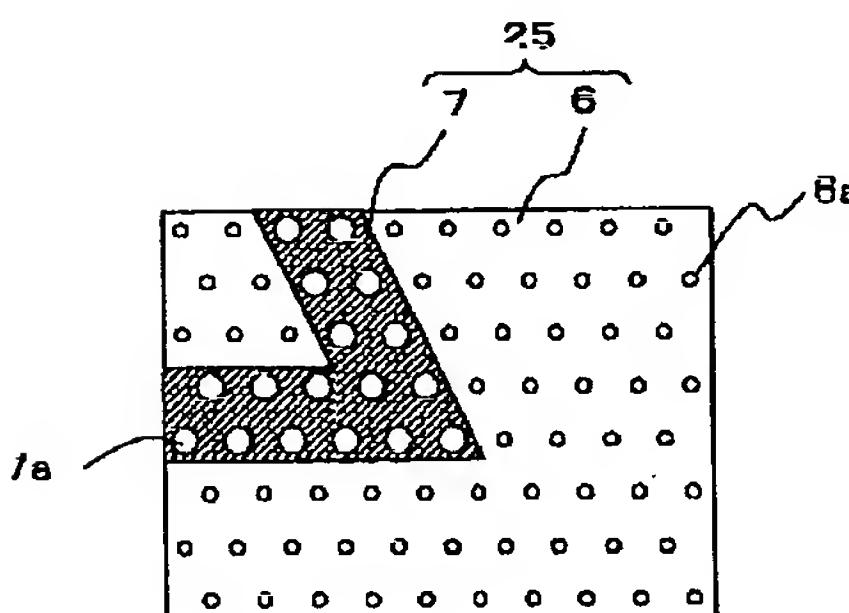
【図10】



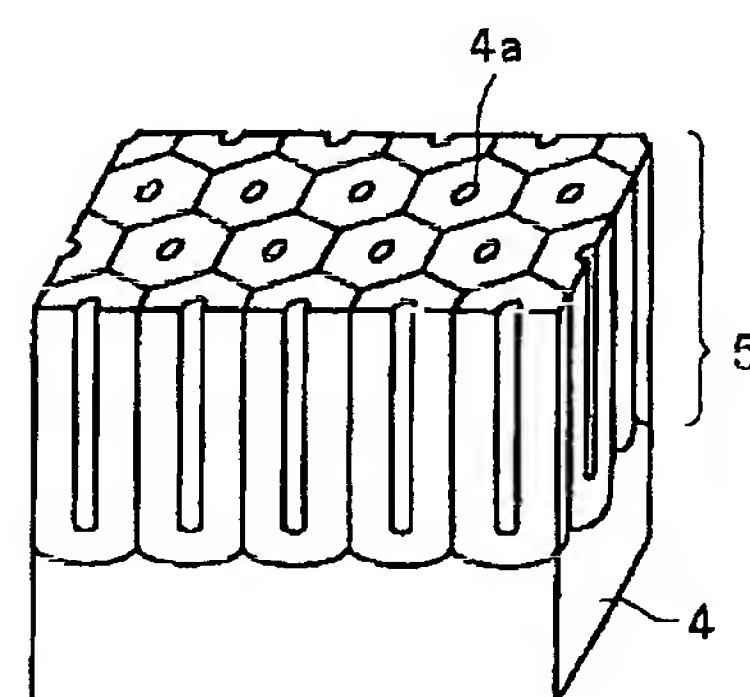
【図9】



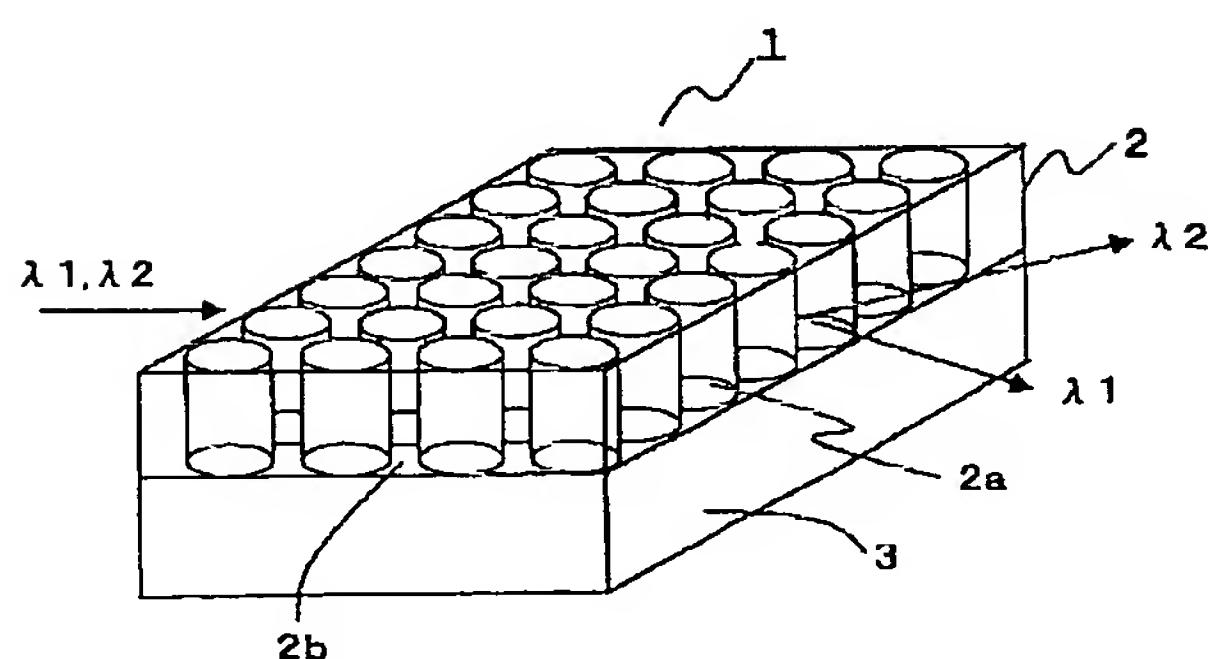
【図11】



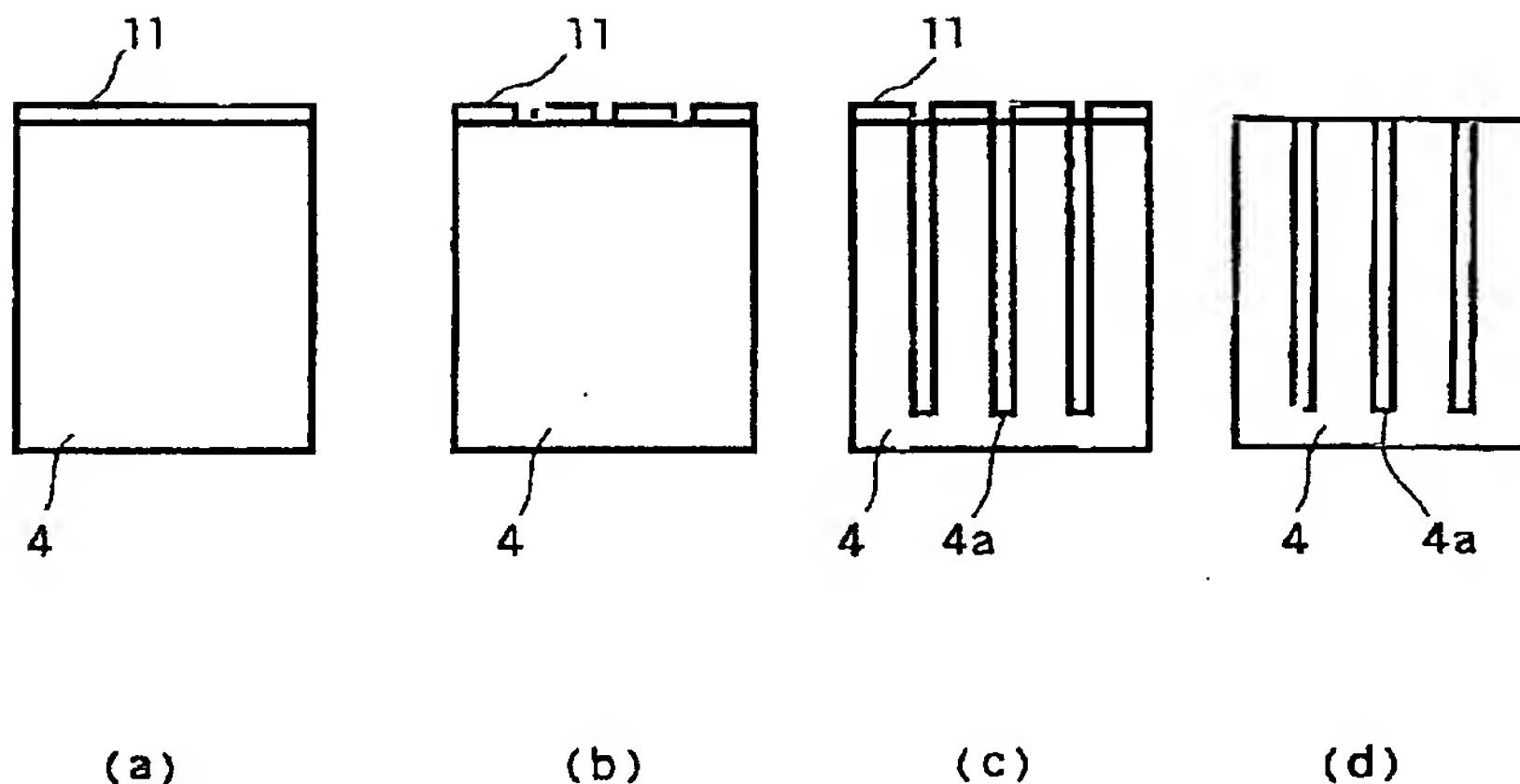
【図15】



【図12】



【図13】



---

フロントページの続き

(51) Int.Cl.7

識別記号

F I  
G 02 B 6/12

(参考)

N

(72) 発明者 寺本 みゆき

大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪  
国際ビル ミノルタ株式会社内

F ターム(参考) 2H047 KA03 LA18 PA01 PA24 QA01  
2H049 AA01 AA02 AA31 AA33 AA37  
AA44 AA48 AA57 AA59 AA65  
BA01 BA42 BB01 BB03 BB06  
BB62 BC08 BC25